

1

ir. Wim van 't Land,  
ir. Guido Bastiaens,  
ir. Jan van Wolfswinkel,  
Peter Heideman AvB  
Movares <sup>1)</sup>

Ontwerpers en ingenieurs aan tafel met makers

# Samenwerking door digitale ontwerpmethoden

*Dankzij digitale ontwerpmethoden (onder meer parametrisch ontwerpen en topologische optimalisatie) en robotisering van het productieproces, kunnen oplossingen precies op maat worden ontworpen en gerealiseerd. Daarmee kunnen ze bijdragen aan duurzame oplossingen in de bouw. Deze methoden vragen een verregaande samenwerking in de keten. De digitale samenwerking leidt tot een diepgaande verandering van de hele bouwsector, waarbij traditionele schotten tussen disciplines en rollen wegvallen.*

De toekomst van ontwerpen ligt in een compleet andere wijze van samenwerken tussen opdrachtgever, ontwerpers, uitvoerders en andere stakeholders zoals eindgebruikers. De rol van de ingenieur verandert daarbij sterk (zie kader 'Disciplines en rollen vervagen, andere vaardigheden nodig'). Kenmerkend voor de samenwerking is dat digitaal ontwerpen wordt gekoppeld aan de praktijk van de uitvoering. Dit gebeurt door (uitvoerings)parameters vroegtijdig vast te leggen, deze onderling te delen en terug te koppelen vanaf de eerste ontwerpfase tot en met de uitvoering. Hierbij moeten wensen en randvoorwaarden goed worden geanalyseerd, omgezet in ontwerpparameters en toegepast in modellen tot een samenhangend geheel om deze vervolgens te visualiseren. Deze gevisualiseerde 'informatie-op-maat' kan door opdrachtgevers worden gebruikt om optimale keuzen te maken.

Dit nieuwe proces geeft Movares onder andere vorm door *computational design* toe te passen in de samenwerking met maakpartijen als Bruil en 3D Robot Printing, die zich sterk ontwikkelen in het printen van beton respectievelijk kunststof. Aan de hand van enkele voorbeelden worden de mogelijkheden van het digitaliseren van het ontwerp – *computational design* – toegelicht.

<sup>1)</sup> De auteurs zijn allen lid van de Werkgroep Computational Design van advies- en ingenieursbureau Movares Nederland B.V.



### Voorbeeld: abri voor watertaxi

Met de gemeente Rotterdam ontwikkelen Movares, Bruil en StudioRAP een met beton geprinte halte voor de watertaxi (foto 1, 2). Deze abri is door de drie partijen gebruikt als onderzoekstraject om het 3D-printen van beton te ontwikkelen en de potentie ervan te onderzoeken.

#### Architectuur

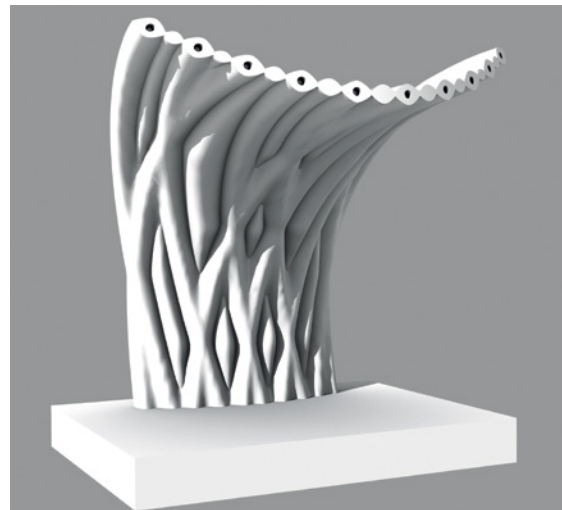
Het ontwerp van de abri is een dubbelgekromde schaal die uitkraagt vanaf de fundering (fig. 3). Het ontwerp is ontstaan door goed gebruik te maken van de printtechniek. De vorm kan niet kostenefficiënt in een traditionele bekisting worden gemaakt.

Elke geprinte laag bestaat uit één gesloten lijn. De printer gaat dus heen en terug en doet dat in een golvende beweging. Daarbij kruisen de lijnen elkaar. De 3D-vorm die zo ontstaat, is al tijdens het printen stabiel.

Omdat een grote uitkraging bij het printen niet mogelijk is, wordt de abri opgebouwd uit segmenten (foto 1, 2). Deze segmenten worden met naspankabels tegen elkaar gedrukt. De drukspanning die zo ontstaat, wordt ook gebruikt om de trekspanningen in het ongewapende beton te ondervangen. Dankzij de holle structuur die door het printen van de segmenten ontstaat, kunnen de naspankabels in de constructie van de abri worden opgenomen.

#### Constructief ontwerp

De vorm is gebaseerd op een parabolische hyperboloïde (hypar). Door de lijnvormige inklemming van één zijde van de constructie is er beperkt sprake van schaalwerking. De constructie is daarom geschematiseerd als een uitkragende schaal die voorover helt. De betonconstructie wordt daarmee belast op een buigend moment. Het opnemen van de drukspanningen (vanuit het moment en de naspanning) vormt



3

- 1 De met beton geprinte halte voor de watertaxi, gebruikt als onderzoekstraject om het 3D-printen van beton te ontwikkelen en de potentie ervan te onderzoeken
- 2 De 3D-geprinte betonnen abri
- 3 Impressie van de abri

2



- 4 Aanzicht van de abri
- 5 Continue cyclus tussen ingenieur, architect en producent

### Disciplines en rollen vervagen, andere vaardigheden nodig

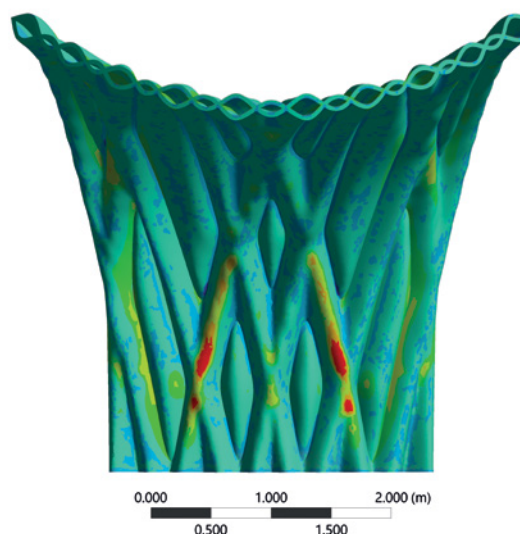
Ingenieurs, architecten, producenten en aannemers experimenteren volop met het automatiseren en robotiseren van hun werk. Dit levert mooie resultaten op, zeker wanneer deze vakdisciplines nauw samenwerken. Door gezamenlijk de parametrische ontwerpregels – het DNA van een gebouw – te formuleren, wordt een hoge ontwerpambitie als vormvrijheid betaalbaar en maakbaar. Voor ontwerpers zal de automatisering extra werk opleveren. Economische bureaus verwachten dan ook dat de vraag naar architecten en ingenieurs de komende jaren sterk zal stijgen [1, 2].

Het integraal werken wordt bevorderd door de ontwikkeling van 'Building Information Modelling' (BIM). Steeds meer informatie is gestructureerd beschikbaar in databases en 3D-modellen. Voor architecten en ingenieurs lijken de mogelijkheden eindeloos om deze data te verzilveren met computational designtechnieken. Ontwerpers combineren in deze ontwerptrajecten hun ervaring met de data door zelf scripts te schrijven en ontwerptools en scripttalen te gebruiken zoals Grasshopper, Dynamo, Python en C#.

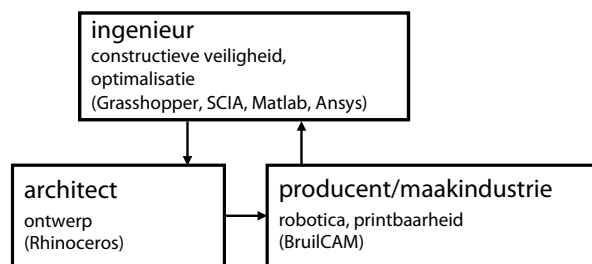
Er komen steeds meer data beschikbaar die ontwerpers in staat stellen ook de *uitvoering* van hun ontwerp te betrekken in het ontwerpproces. Daardoor raken de uitvoerende partijen eerder betrokken bij dit proces. De in dit artikel beschreven projecten, zoals de abri en de vistrappen, tonen de potentie van deze ketensamenwerking.

Duidelijk is dat door dit alles de bouwkolom verandert. Door samenwerking van ingenieurs met de maakindustrie kunnen de ingenieursbureaus de rol van (hoofd)aannemer vervullen. Het bouwproces zal deels eenvoudiger worden doordat diverse fasen ervan ineenschuiven dankzij digitale technieken en data-uitwisseling. Tegelijk worden ontwerpen en ontwerpprocessen complexer door het gebruik van software. Deze complexere processen met veel interdisciplinaire samenwerking zijn niet altijd op de oude manier te managen. Traditionele disciplines gaan op de schop, er kunnen onverwachte dingen gebeuren. Openheid en flexibiliteit worden daarmee belangrijk.

Bij op het oog verschillende projecten zien processen er soortgelijk uit. Hierdoor ontstaat er nog meer uitwisseling tussen disciplines en bouwfasen. Duurzaamheid neemt toe, niet alleen door materiaalbesparing maar ook door de opzet van het ontwerpproces, waarin partijen vanaf het begin samenwerken en het life-cycle-principe makkelijker kan worden gerealiseerd.



4



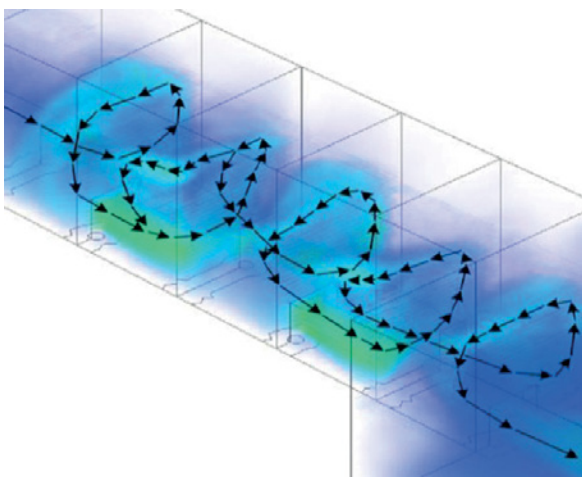
5

voor het beton geen probleem. Onderzoek van het door Bruil ontwikkelde printmateriaal door SGS Intron toont aan dat de kwaliteit vergelijkbaar is met C50/60. De trekspanningen vormen echter een grotere uitdaging. Het onderzoek laat weliswaar ook zien dat de geprinte doorsnede beschouwd kan worden als monoliet (er treedt geen delaminatie tussen de geprinte lagen op), maar in het ongewapende beton blijft trekspanning moeilijk opneembaar.

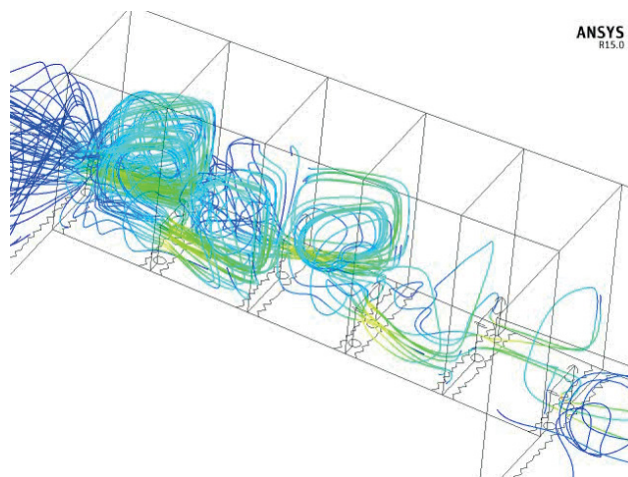
Om de trekspanningen te verkleinen en capaciteit voor naspanning te creëren, is in het ontwerpproces eerst gezocht naar mogelijkheden de constructieve hoogte van de doorsnede te vergroten. Daarvoor is een optimalisatie uitgevoerd. Het algoritme in Matlab en Ansys heeft het beton zo verdeeld dat de randen smal blijven, maar dat de abri naar het midden toe dikker wordt [3] (fig. 4). Vervolgens zijn diverse naspanpatronen onderzocht. Gekozen is voor een patroon met tien kabels die de constructie onder druk zetten en zo de trekspanningen elimineren.

#### Proces

In de geijkte werkwijze werkt een team van ingenieurs het schetsontwerp samen met de architect stapsgewijs uit tot een



6a



6b

uitvoeringsontwerp. Realisatie kan pas starten nadat het uitvoeringsontwerp gereed is. Voor het ontwerp van de abri volstaat dit proces echter niet. Elk ontwerp kan namelijk vanaf de eerste digitale schets namelijk direct gerealiseerd – geprint – worden. Ook zonder dat er is getoetst of het ontwerp technisch haalbaar is en of het voldoet aan de eisen van constructieve veiligheid.

De abri is ontwikkeld in een ontwerpproces met een continue digitale feedbackcyclus (fig. 5). Daarin stellen alle stakeholders hun informatie beschikbaar aan elkaar. In de cyclus wordt als eerste de printbaarheid getoetst. Vervolgens wordt ook de technische haalbaarheid onderzocht, waaronder de materiaaleigenschappen en het gedrag van de constructie onder verschillende belastingen. Deze cyclus wordt diverse malen doorlopen. Hiertoe moet de digitale keten soepel werken en de informatie van parameters behouden blijven.

#### Additive manufacturing

De geprinte abri is een voorbeeld van additive manufacturing. Hierbij wordt in het ideale geval alleen daar materiaal toegevoegd waar het nodig is. Met *computational design*-tools wordt de constructie geoptimaliseerd en bepaald waar het materiaal

nodig is. Deze werkwijze leidt tot een sterke materiaalreductie en draagt daarmee direct bij aan de duurzaamheid van constructies.

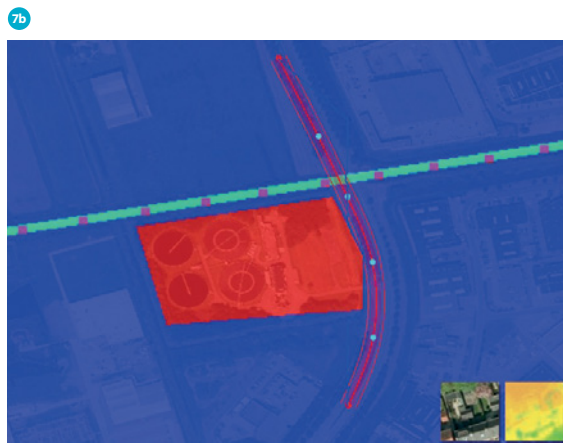
#### Voorbeeld: onderdoorgang

Een kans die de digitalisering van ontwerpproessen biedt, is het koppelen van computational design aan omgevingsdata. Movares past dit toe in een zelf ontwikkelde ontwerptool voor onderdoorgangen (fig. 6a en b). Met deze tool wordt een onderdoorgang geautomatiseerd ontworpen tot op het niveau van voorontwerp, en meteen ingepast in de omgeving – denk aan de ligging van kabels en leidingen, geotechnische gegevens en eigendomsgrenzen. Een parametrisch 3D-model geeft de opdrachtgever in vroege planfase volledig inzicht in de vormgeving, inpassing en bouwkosten. Door het direct visualiseren van het ontwerp in de bestaande omgeving kan worden geverifieerd of het ontwerp voldoet aan de verwachtingen. Dit kan voor meerdere varianten die in een gezamenlijke sessie met de opdrachtgever tot stand komen. Zo wordt gezamenlijk het meest geschikte tracé bepaald.

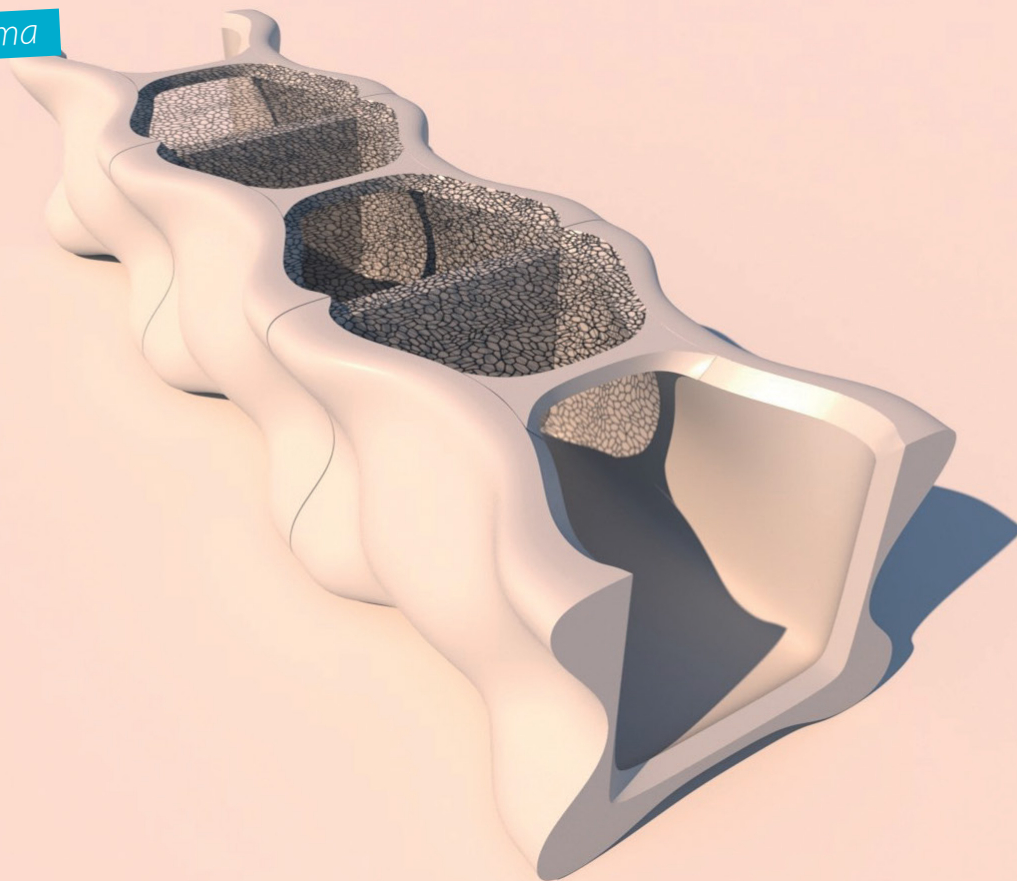
De tool bestaat uit verschillende modules waarbij de output van de ene module input is voor een volgende. De output kan in de



7a



7b



8

8 Model te printen  
vistrap

vorm zijn van landXML, die weer te gebruiken is in software als Revit en Civil 3D. Een van de modules betreft een berekening van een moot van de onderdoorgang met RFEM. RFEM wordt hierbij vanuit de tool aangestuurd door een COM-interface (software-architectuur om de ontwikkeling van component-gebaseerde toepassingen te ondersteunen). De benodigde geometrie is in voorgaande modules gegenereerd.

### Voorbeeld: vistrap

Vistrappen worden veel in Nederland toegepast. De werking ervan kan echter vaak beter zodat meer vissen de trap kunnen passeren. Om dit te bereiken is een parametrisch stromingsmodel van water opgesteld, dat de mate van turbulentie en stromingssnelheden in een vistrap kan vaststellen (fig. 7a en b). Hoe het water stroomt, bepaalt het succes van de vistrap. De parameters in dit model zijn onder meer de afmetingen van de vorm, van de doorgangen in de trap en van de kamers. Ook is het zwemgedrag van verschillende soorten vissen gesimuleerd. De combinatie van deze beide simulaties levert een vorm op die de vistrap geschikt maakt voor meerdere vissoorten. Het model houdt rekening met specifieke omstandigheden, zoals op de betreffende locatie voorkomende vissoorten en verhang.

Een doorsnede van deze vorm is vervolgens met behulp van topologische optimalisatie omgezet in een constructieve opzet die in kunststof wordt geprint (fig. 8). Deze combinatie van computational design – gebruikt voor het optimaliseren van de stromingen en de constructie – en digital manufacturing maakt het mogelijk voor elke locatie een geschikte vistrap te realise-

ren, afgestemd op het specifieke verval en de voorkomende vissoorten. De vistrappen leveren zo een bijdrage aan een toename van de vismigratie en daarmee aan de biodiversiteit.

De vistrappen worden ontwikkeld in een combinatie van partijen die samen de hele keten vormen en van ontwerp tot en met realisatie samenwerken. Het grootste deel van de keten is gedigitaliseerd.

### Kansen

Een belangrijk aspect van de genoemde projecten ligt in het digitaliseren van de keten. Daarin liggen nieuwe kansen voor het ingenieursbureau: een verschuiving van engineering ten behoeve van een project, naar regisseren van de digitale keten ten behoeve van een product. Een gesloten *digitale keten*, waarin informatie van begin tot einde behouden blijft, is uiterst relevant om de opdrachtgever een product op maat te kunnen leveren op basis van bij aanvang vast te stellen parameters. ☒

#### ● BRONNEN

- 1 <https://insights.abnamro.nl/2016/02/digitale-transformatie-bouw/>
- 2 [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf)
- 3 Van Wolfswinkel, J.C. et al. (2017). Design Process of a 3D-Printed Concrete Water Taxi Stop. In *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet. Proceedings of the 2017 fib Symposium, Maastricht, The Netherlands*. Houten: Springer (2017).